

K-band용 Push-Push 유전체 공진 발진기의 설계 및 제작

(Design and Construction of a Push-Push Dielectric Resonator Oscillator at K-band)

李柱悅,** 李燦柱,** 洪義錫*

(Joo Yeol Lee, Chan Ju Lee, and Ui Seok Hong)

要 約

본 논문에서는 유전체 공진기를 이용한 K-band용 push-push 발진기를 설계 및 제작하였다. 두개의 동일한 발진기는 push-push 구조로 배열해서 각각의 발진 주파수의 두배가 되는 발진 주파수를 발생시킨다. 유전체 공진기는 안정한 주파수원을 제공하는 2단자 능동소자(FET)의 입력단에 위치된다. 이런 방법으로 구현된 발진기는 좋은 spectral purity와 기본 주파수의 상쇄를 나타낸다.

Abstract

In this paper a push-push oscillator using DR (dielectric resonator) at K-band is designed and constructed. Two identical oscillators are arranged in a push-push configuration that has the frequency of oscillator that is twice frequency each oscillator. A dielectric resonator is placed at the input of an active two-port device(FET) yielding a stable frequency source. The oscillators realized with this technique exhibit excellent spectral purity and cancellation of fundamental frequency.

I. 서 론

GaAs MESFET을 이용한 발진기는 Si 트랜지스터를 이용하는 방법보다 높은 DC to RF conversion efficiency(>10%) 특성을 갖고 있으며 GaAs MESFET는 게이트, 소스, 드레인 등의 3단자를 갖고 있기 때문에 다양한 능동 발진 회로를 구현할 수 있으며 이런 특성을 이용하여 변조(modulation)¹⁾, 보상(compensation)과 안정성(stabilization)을 제공하므로

써 발진기 동작의 제어를 가능하게 한다.²⁾ 일반적으로 마이크로 웨이브용 발진기는 능동 소자와 주파수 고정 발진기에 사용되는 마이크로스트립, cavity 공진기, 유전체 공진기와 주파수 가변 발진기에 사용되는 바랙터(varactor)와 YIG등과 같은 주파수 결정 공진 회로로 구성된다. 그러나 주파수 고정 발진기에서는 기계적인 진동이나 전기적인 변이 또는 온도 변화에 민감하여 발진 주파수의 변동을 발생시키기 때문에 안정된 발진을 하기 위해서는 높은 값의 Q, 적은 부피와 마이크로웨이브 집적 회로에서 양호한 집적도 때문에 유전체 공진기가 저렴한 가격과 가장 큰 이득 대역폭 주파수를 얻을 수 있는 유전체 공진 발진기에 많이 응용하게 되었다. 이러한 유전체 공진 발진기는 유전체 공진기의 위치와 사용 형태에 따라 주파수를 안정시키는 기본적인 방법이 있다.³⁾ 본 논문에서 제작할 발진기는 이 reflection mode에

*正會員, 光云大學校 電波工學科
(Dept. of Radio Sci. Eng., Kwangwoon Univ.)

**準會員, 光云大學校 電子通信工學科
(Dept. of Elec. Comm. Eng., Kwangwoon Univ.)

接受日字: 1991年 11月 20日

속하는 높은 안정도와 낮은 FM 잡음이 월등한 직렬 케환 발진기로 구성했으며 이는 FET의 소스단에 일정량의 병렬 리액턴스를 연결하는 구조인데 FET의 게이트 단에는 유전체 공진기를 일정거리에 위치시켜 임의의 개방 스타브를 구현하며 이런 구조로 인해 출력으로부터 분리되어 매우 낮은 소자의 내부 드레인 대 게이트 캐패시턴스를 가지게 한다. 그러므로 본 논문에서는 직렬 케환 발진기의 특성을 가지면서 안정도와 FM 잡음이 개선되는 push-push 구조로 유전체 공진 발진기 설계 했다. 이런 push-push 유전체 공진 발진기는 기본 발진기의 출력단을 결합하여 기본 주파수를 제거시키고 2차 고조파를 합하여 얻을 수 있다. 또한 push-push 유전체 공진 발진기의 장점은 K-band (18~26.5GHz) 이상의 주파수에서는 높은 Q값을 갖는 유전체공진기를 효율적으로 제조하기가 어려우며 그 크기도 1mm 이하이므로 설계하는데 난점이 있다는 것들이 문제가 되기 때문에 K, Ka-band (26.6~40GHz)에서 야기되는 이러한 문제들을 push-push 발진기 설계 방법으로 제거할 수 있으며 설계된 동작 주파수의 1/2에서 공진하는 유전체 공진기를 사용할 수 있는 push-push 유전체 공진 발진기를 설계했다.

II. 유전체 공진기

1. 유전체 공진기의 결합계수

유전체공진기를 이용한 초고주파 발진기는 그 특성이 온도에 대해 안정하며 마이크로 스트립 선로를 이용할 때 구조가 비교적 간단하고 조정이 용이한 장점이 있다. 또한 발진주파수에서의 Q값이 매우 높으며 주파수 조정범위도 비교적 넓다.

초고주파 회로에서 효과적으로 유전체공진기를 사용하기 위해서는 여러 형태의 전송선로와 유전체 공진기 사이의 결합(coupling) 형태를 정밀하게 파악해야 한다. 그림1에서 유전체 지지대(dielectric spacer)

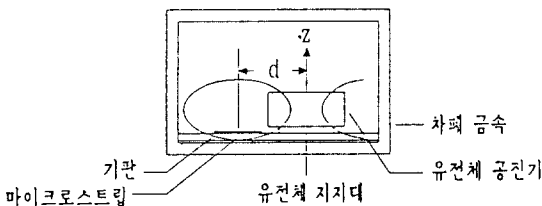


그림 1. 초고주파 발진기에 응용하기 위해 마이크로스트립 위에 장착된 유전체공진기
Fig. 1. DR mounted on microstrip for oscillator application.

는 마이크로스트립 전송선과 유전체공진기 사이의 결합을 극대화시킴으로써 Q값을 개선시키기 위한 목적으로 유전체공진기 밑에 첨가된다.

마이크로스트립 전송선과 유전체공진기 사이의 간격은 일차적으로 마이크로스트립 전송선과 유전체공진기 사이의 결합되는 양을 결정하며, 금속을 이용한 차폐(shielding)는 방사손실을 줄이는데 큰 역할을 한다.

공진기와 선로간의 결합은 그림1에서 보여진 것처럼 공진기의 자체 dipole moment의 방향이 마이크로 스트립 기판에 대해 수직으로 존재할 때 형성된다. 이때 유전체 공진기는 공진주파수에서 RF (radio frequency)를 반사시키는 cavity와 같이 동작하게 된다. 마이크로스트립 전송선 옆에 놓여진 유전체공진기는 등가적으로 직렬공진회로 혹은 병렬공진회로로 대체할 수 있다. 그림2는 단일 마이크로스트립 전송선과 결합한 공진기를 등가회로로 나타낸 것이다. 유전체 공진기의 공진 주파수에서 그림2와 같은 형태의 S-Parameter (산란계수)는 다음과 같다.^[5]

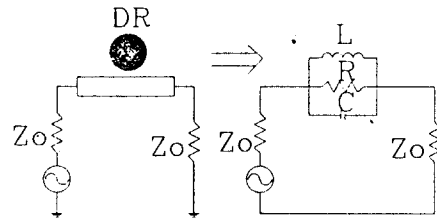


그림 2. 단일 마이크로스트립 선로와 유전체 공진기가 결합된 등가회로
Fig. 2. Equivalent circuit of DR coupled to a microstrip line.

$$S_{11} = S_{22} = \frac{\beta}{(1+\beta)} \tag{1}$$

$$S_{12} = S_{21} = \frac{1}{(1+\beta)} \tag{2}$$

여기서 β 는 결합계수이며 다음과 같이 정의된다.

$$\beta = \frac{R}{2Z_0}$$

마이크로스트립 회로에서 유전체 공진기는 마이크로 스트립 전송로 근처에 위치시킴으로써 결합되는데 이는 기본적으로 자계결합(magnetic coupling)을 의미한다. 결합된 값은 기판과 공진기 사이의 유전체 지지대의 높이와 전송로와 공진기 사이의 거리에 의

해서 변화하게 된다. 일반적으로 기판의 두께와 비슷한 높이의 유전체 지지대를 사용하거나 공진기의 절반 정도를 사용한다. 전송선과 충분한 결합을 하기 위해서는 공진기가 겹칠수도 있으나 전송선 중심에 공진기가 위치하면 결합이 상쇄된다.

결합계수는 실험을 통해서 정확하게 구할 수 있지만 그림3에서와 같이 공진기 중심과 마이크로스트립 전송로의 임의 특성 임피던스 Z_0 의 폭 $2l$ 의 중심 사이의 거리 d 를 기준으로 하여 유전체 공진기의 직경 D 와 높이 H 그리고 유전체 공진기의 높이의 중간점과 기판의 두께를 포함한 높이 H' 의 실제적인 치수로써 다음과 같이 구할 수 있다.⁶⁾

$$\beta = 0.927 \frac{f \cdot Q \cdot D^4 \cdot h \cdot \epsilon' \mu_0}{64 \cdot Z_0 \cdot d^2 \cdot \pi \cdot l^2}$$

$$\left[L^n \frac{(d+l)^2 + H^2}{(d-l)^2 + H^2} - \frac{1}{3} L^n \frac{(d+3l)^2 + H'^2}{(d-3l)^2 + H'^2} \right] \quad (3)$$

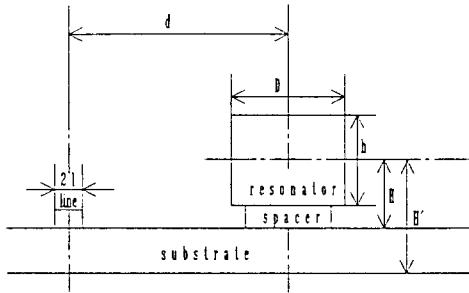


그림 3. 마이크로스트립 위에 장착된 유전체공진기의 치수
Fig. 3. Dimension of DR mounted on microstrip.

2. 유전체 공진기의 발진기 응용

유전체 공진기를 MIC(microwave integrated circuit) 발진기에 응용하는 두가지 방법은 Free-running oscillator와 결합한 수동 안정화 소자 (Stabilized DRO)로써 사용하는 방법과 발진 주파수를 결정하는 발진기 회로(Stable DRO)에서 회로 소자로 사용하는 방법⁷⁾이 있다.

직렬 케환 발진기는 그림4와 같이 잠재적으로 불안정한 FET의 입력단에 유전체 공진기를 위치시킨 것으로 공진 주파수 근처에서 마이크로스트립 전송로와 유전체 공진기는 강하게 결합되어 이때 전력이 FET측으로 반사되어 FET는 불안정해지고 발진이 일어나게 된다. 이 형태는 유전체 공진기와 전송로

간의 결합관계를 모델화하기 쉽고 기생 발진을 쉽게 피할 수 있을 뿐만 아니라 부하 변화에 대한 발진 주파수 및 출력 전력 변화가 적다는 장점이 있다. 본 논문에서는 직렬케환 발진기를 사용하여 push- push 유전체 공진 발진기를 구성하였고 접지 방식의 효율이 높고 높은 출력에 적용 가능한 공통 소스 방식을 택했다. FET의 소스에 개방 스테브를 연결하여 제조회사에서 주어진 10GHz의 산란 계수를 기초로한 새롭게 생성된 산란계수의 $|S_{11}|$ 과 $|S_{22}|$ 가 1을 초과하여야 한다.

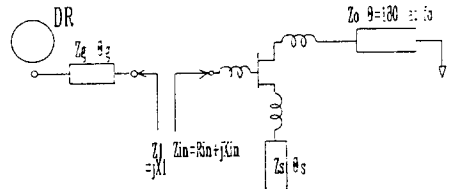


그림 4. 직렬케환 유전체 공진발진기
Fig. 4. Series feedback dielectric resonator oscillator.

게이트단에 결합된 유전체 공진기는 반사모드(reflection mode)로 동작하고 충분히 결합된 유전체 공진기의 반사계수의 절댓값은 0.9 정도이며 FET의 게이트로부터 일정거리 θ 만큼 떨어진 유전체 공진기의 반사계수는 Γ_n

$$\Gamma_1 = \Gamma_R e^{-2j\theta_g} = |\Gamma_R| e^{-2j\theta_g} \quad (4)$$

가 되며, 발진 상태가 정상이 된다면

$$1 = S'_{11} \cdot \Gamma_1 = S'_{11} \cdot |\Gamma_R| \cdot e^{-2j\theta_g} \quad (5)$$

이 된다. 그러므로 정상 상태에서 $|S'_{11}| = 1/|\Gamma_R|$ 이 되어야 한다.

이 상태에서 얻어진 $|S'_{11}|, |\Gamma_R|$ 과 $\arg S'_{11}$ 로부터

$$\theta_g = \frac{1}{2} \arg S'_{11} + n\pi$$

$$n = 0, 1, 2, \dots, \quad (6)$$

로 구해진다.

실질적으로 게이트단과 유전체공진기의 기준면과의 거리 L 은 유전체공진기의 직경보다 작을 경우가 있는데 이럴 때 n 이 선택되며 물리적 길이 L 은

$$L = (\theta_g/2\pi) \lambda_m \quad (7)$$

이 되고, 여기서 λ_m 은 마이크로스트립의 관내파장이다.

그러므로 FET에 연결된 마이크로스트립 전송로 상의 길이 L에 위치한 유전체공진기가 전송로와 결합하여 공진주파수에서 등가회로로 나타낸 저항 R이 최대가 될때 FET의 드레인단에서 본 반사계수 Γ_{out} 가 최대가 되는 지점을 찾기위해 길이 L을 변화시킨다.

III. 발진기 이론

그림5와 같은 2단자 회로망은 입력 정합회로 또는 generator-tuning network와 출력정합회로 또는 load-matching network 등으로 나뉘며 입력 정합회로는 발진주파수를 결정하며 출력 정합회로는 정합역할을 제공한다.

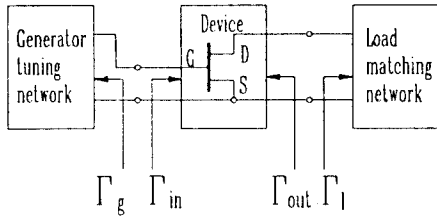


그림 5. 2-단자망 발진기 모델
Fig. 5. Two-port oscillator model.

2-단자망 발진기의 발진조건 세가지는 다음과 같다.

- 발진조건 1 : $K < 1$
- 발진조건 2 : $\Gamma_{in}\Gamma_g = 1$
- 발진조건 3 : $\Gamma_{out}\Gamma_l = 1$

여기서 K는 능동소자의 stability factor이며,

$$K = \frac{1 + |\Delta|^2 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2}{2|S_{12}S_{21}|} \quad (8)$$

$$\Delta = S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21}$$

Γ_{in} : 능동소자의 입력 반사계수

Γ_g : 공진회로의 반사계수

Γ_{out} : 능동소자의 출력 반사계수

Γ_l : 부하 정합회로의 부하 반사계수

이다.

발진조건1은 stability factor가 1보다 작아야 되며 만약 1보다 크다면 common terminal을 바꾸어 주거나 positive feedback을 첨가하면 된다⁹⁾

발진조건 2와 3은 발진주파수에서 능동소자의 입력과 출력단자를 공진시키기 위해 Z_g 와 Z_l 을 첨가시켜야 한다. 다르게 표현하면 어느 한 단자에서 발진을 한다면 동시에 또다른 한쪽 단자에서도 발진이 일어나야 한다. 일반적으로 출력의 대부분이 어느 한쪽 단자로 전달되며 한개의 부하를 연결해야 한다. Γ_g 와 Γ_l 은 1보다 작기 때문에 $|\Gamma_{in}| > 1$ 과 $|\Gamma_{out}| > 1$ 이 되어야 한다. FET의 동작주파수대에서 소신호 산란계수로 계산된 stability factor K가 1보다 클 경우 직렬케환 중 적당한 케환을 선택해서 stability factor K를 보다 작게 만들어 주어야 한다. 즉 새롭게 생성되는 산란계수의 $|S_{11}|$ 와 $|S_{22}|$ 가 1을 초과하는 지를 확인하여야 한다. 이때 새롭게 생성되는 산란계수로 입력단과 출력단의 안정도원을 그려 안정상태가 불안정 영역에 속하는지를 확인한다. 구현하기 쉬운 직렬케환을 선택해서 stability factor K를 1보다 작게 만들어주고 새롭게 생성되는 산란계수의 $|S_{11}|$ 와 $|S_{22}|$ 가 1을 초과하기 위해서는 2-port 산란계수로 부터 3-port로 특성화시켜야 되는데 제조사에서 주어진 common source 2-port 산란계수로 부터 계산된다. 3-port 산란계수 장점은¹⁰⁾ 케환회로 분석에 있어서 케환회로로 첨가하기전에 산란계수를 Z, Y-parameter로 변환시킬 필요가 없으며 GaAs MESFET의 3-port 산란계수는 행과 열의 합이 1이 되는 특성을 갖고 있어서 측정과 분석을 할때 오류를 막을 수 있다.

여기서 GaAs MESFET의 소스단에 스테브 X_2 를 첨가하여 새롭게 생성된 산란계수 $[S]_{2p}$ 의 $|S_{11}|$ 과 $|S_{22}|$ 가 1보다 크게 되도록 소스단의 스테브 X_s 를 가변시킨다. GaAs MESFET의 소스단에 스테브 X_s 를 고려한 $[S]_{2p}$ 를 구하는 식은

$$[S]_{2p} = \begin{bmatrix} S_{12} - \frac{S_{13}S_{31}\Gamma_s}{1 + S_{33}\Gamma_s} & S_{12} - \frac{S_{13}S_{32}\Gamma_s}{1 + S_{33}\Gamma_s} \\ S_{12} - \frac{S_{13}S_{23}\Gamma_s}{1 + S_{33}\Gamma_s} & S_{12} - \frac{S_{23}S_{32}\Gamma_s}{1 + S_{33}\Gamma_s} \end{bmatrix} \quad (9)$$

와 같고, 여기서 반사계수 Γ_s 는 GaAs MESFET의 소스단에 대한 반사계수로

$$\Gamma_s = \frac{Z_s - Z_0}{Z_s + Z_0} \quad (10)$$

이며, 여기서 회로가 발진하기 위해서는 Γ_g 과 Γ_l 의 조합에 변화하는 출력 임피던스 $\text{Re}(Z_{out})$ 이 음수가 되도록 해주어야 한다. 최적 Γ_g 과 Γ_l 의 조합은 $|\text{Re}(Z_{out})|$ 이 최대로 나타날 때로 정의된다. 초고주파

대역에서 사용되는 발진기에 첨가하는 제환은 전류-직렬제환(current-series feedback)이 많이 사용되며 이는 공통 소오스(common source) 구조나 공통 드레인(common drain) 구조에서 FET의 소오스나 드레인에다 단락스터브(shorted stub) 또는 개방스터브를 연결해주는 구조이다.^[11]

IV. Push-Push 유전체 공진 발진기

동일한 두개의 발진기가 push-push 형태로 구성될 경우 각 발진기의 두배의 발진주파수를 갖게되는데 이러한 특성을 이용하여, 소자 용량의 한계와 제조 기술이 문제시되는 K-band(18~26.5GHz) 이상에서 많이 이용되고 있다. Push-push 유전체 공진 발진기의 기본적인 구성은 그림6에 나타나 있다.

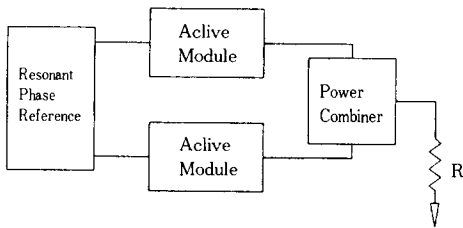


그림 6. Push-push 유전체 공진발진기 분석을 위한 그림

Fig. 6. Schematic diagram for the analysis of push-push DRO.

Push-push DRO는 그림6과 같이 세 부분으로 구분되며 제환 회로를 포함한 능동소자로 구성된 active module, 두 마이크로스트립 사이에 놓인 유전체 공진기로 구성된 resonant phase-reference 회로와 임피던스 정합 마이크로스트립 전송로와 출력 부하로 구성된 3port power combiner로 구성되며 그 형태는 그림7 및 그림8에 나타나 있다.

Resonant phase reference 회로는 두개의 병렬 마이크로스트립 전송로 중간에 유전체 공진기를 위치시킴으로써 마이크로스트립에 유기된 전류는 180°의 위상차를 갖는다. 결과적으로 공진기 역할 뿐만 아니라 push-push 구조에서 두개의 발진모듈 사이에 phase reference역할^[12]도 한다. 두개의 능동 모듈이 물리적, 전기적으로 동일하다고 가정하면 각각의 power combiner 회로에 인가되기 전의 각 발진기로부터의 출력 전압은 발진 주파수에서 그 위상차는 180°가 되고 전압의 2차 고조파는 부하에서 합하

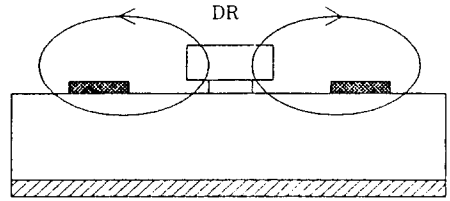


그림 7. 두 병렬 마이크로스트립 중간에 위치한 유전체공진기의 H-field

Fig. 7. H-field of DR centered at two parallel microstrip line.

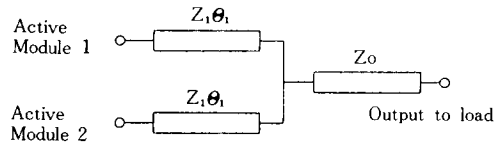


그림 8. Power combiner 회로

Fig. 8. A simple power combiner circuit.

여지게 된다.

Power combiner 회로에서 두개의 동일한 전송선의 특성 임피던스 Z_1 는 전기적 길이 θ_1 이 180°이다. 여기서 전송선의 특성 임피던스 Z_1 는 발진주파수에는 영향을 미치지 못하지만 2fo 즉 2차 고조파에서 출력 전력에 중요한 영향을 끼친다. 일반적으로 전송선의 특성 임피던스 Z_1 은 100Ω이 사용된다.^[13] 그러나 최적 설계를 위해서 항상 100Ω이 사용되는 것은 아니다. Push-push 유전체 공진 발진기의 기본적인 모델은 그림9와 같다.

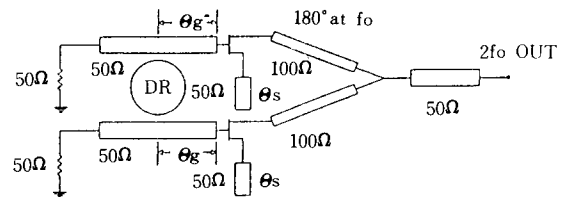


그림 9. 기본적인 push-push 유전체 공진 발진기의 모델

Fig. 9. Simplified push-push dielectric resonator oscillator.

V. Push-push 유전체 공진 발전기의 설계 및 제작

설계는 GaAs MESFET를 이용한 단일 유전체 공진 발전기로부터 시작된다. 직렬 케환 형태의 유전체공진기를 택하고 효율이 높고 쉽게 튜닝을 시킬 수 있으며 높은 출력에 적용할 수 있는 공통 소스 형식을 선택하여 최적화시켰다. 두 발전기를 push-push 구조로 결합하여 push-push 유전체 공진기를 설계하였다.

표 1. Avantex ATF 13136의 산란계수
Table 1. S-parameter of avantex ATF 13136.

($T_a=25^\circ\text{C}$, $V_{ds}=2.5\text{V}$, $I_{ds}=20\text{mA}$)

주파수	S_{11}		S_{12}		S_{21}		S_{22}			
	Mag.	Ang.	dB	Mag.	Ang.	dB	Mag.	Ang.		
10.0GHz	0.54	93	8.7	2.71	-41	-16	.159	58	0.07	-142

표1과 같이 10GHz에서 Avantex ATF 13136 GaAs FET의 산란계수로 부터 3 port 산란계수는

$$[S]_{3p} = \begin{bmatrix} 1.198\angle 80.288^\circ & 0.578\angle -51.285^\circ & 0.851\angle -59.133^\circ \\ 2.656\angle -70.705^\circ & 0.810\angle 97.036^\circ & 1.710\angle 82.591^\circ \\ 1.328\angle 93.445^\circ & 0.818\angle -25.557^\circ & 1.031\angle -70.639^\circ \end{bmatrix}$$

와 같다.

소스단의 스테브 X_s 의 최적치를 구한 결과 $-j210$ 이 산출되었다. 이때 θ_s 는 54° 이며 $[S]_{3p}$ 의 S_{11} 과 S_{22} 는 $1.1133\angle -43.15^\circ$, $1.0106\angle 37.49^\circ$ 이다. 최적치의 S_{11} 과 S_{22} 를 구한 다음 드레인에서 들여다본 반사계수 Γ_{out} 이 1보다 크게하기 위해서 게이트단에 연결된 마이크로스트립 선로 옆에 위치할 유전체공진기의 위치 θ_g 는 86.3° 이며, 출력단의 반사계수 Γ_{out} 은 $1.7084\angle 37.367^\circ$ 이며 Z_{out} 는 $-80.70 + j53.16$ 가 최적치로 계산되었다. 여기서 θ_s 와 θ_g 는 소스단의 개방 스테브의 전기적 길이와 게이트단으로부터 유전체공진기의 기준면까지의 전기적 길이이다. 설계된 유전체 공진 발전기를 push-push 구조를 만들기 위해서는 power combiner가 두개의 발전기를 결합시켜야 한다. 이 power combiner는 기본 발전주파수에서 전기적 길이가 180° 이다. 표2는 마이크로스트립 선로의 설계를 위하여 마이크로웨이브 상용 CAD로 계산된 계산치이다.

발전기 제작에 사용된 마이크로스트립 기판은 KEENE사의 LX-0101-48을 사용했으며 기판의 유

표 2. 마이크로스트립 선로의 계산치
Table 2. Calculation value of microstrip line.

공진주파수	기판	선로폭 (mm)				파장 λ_g (mm)			
		17 Ω	30 Ω	50 Ω	91 Ω	17 Ω	30 Ω	50 Ω	91 Ω
10.0GHz	LX-0101-48	3.010	1.494	0.734	0.250	19.81	20.26	20.76	21.45

전율은 2.48이고 기판의 두께와 동박의 두께는 0.257mm와 0.0035mm이다. 마이크로스트립 선로와 결합된 유전체공진기는 Murata사의 DRD055UE024A를 사용했으며 공진주파수가 9.69~10.54GHz이고 직경과 높이가 5.05mm와 2.44mm이며 유전상수는 38.0 ± 0.05 이고 온도 계수는 $+4\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 이다. 유전체 지지대는 마찬가지로 Murata사의 DRZ 시리즈 DR002A를 사용했으며 외부, 내부 직경과 높이는 3.50mm, 2.0mm와 1.5mm이다.

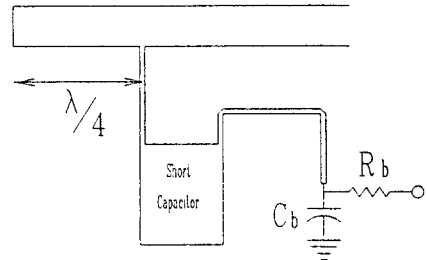


그림 10. 바이어스 회로
Fig. 10. Bias circuit.

Push-push 유전체 공진 발전기에 바이어스를 인가하여야 하는데 DC power의 단일 전원을 사용할 경우 자기 바이어스 기법을 이용해야 한다. 바이어스 회로 및 FET에서의 DC전류 path는 그림10의 회로를 이용하여 구현하였으며 바이어스 feed line은 개방 스테브의 길이가 $\lambda_g/4$ 인 곳에 접합 시키므로써 임피던스가 가장 적은 부분에 병렬로 연결시켜 바이어스 회로의 영향을 최소로 줄일 수 있다. R_b 는 바이어스 전류를 측정하고 제어하기 위한 것으로 수십 Ω 정도가 적당하며 C_b 는 R_b 바이패스 시킬 수 있을 정도의 큰것 (수십 pF)을 사용하면 된다^[14]. 위에서 고려하여야 할 사항은 바이어스 선로를 실현할 때 본래의 손실과 복사 저항 (radiation resistance)^[15] 때문에 주전송로와 스테브에 접속되는 부분의 입력 임피던스가 복사 저항보다 적은 값을 나타내므로 주전송로의 낮은 입력 임피던스 위치에 접속하여야 한다.

R_s 와 병렬로 위치하는 bypass capacitor는 마이크로 파 대에서 볼때 FET의 소스가 접지 상태인 것으로 해준다. 게이트는 DC상에서 접지시켰을 때 게이트와 소스간의 전압은

$$V_{gs} = -R_s \cdot I_{ds} \tag{11}$$

로 된다. V_{gs} 는 FET 바이어스 극성의 반대 극성을 갖는다. I_{ds} 는 V_{gs} 와 R_s 의 비에 의해 조정되며 통상적으로 I_{ds} 가 $I_{dss}/2$ 인 경우 최대 출력을 얻을 수 있다. 그림11은 FET의 게이트단에 연결된 특성 임피던스 Z_g 의 마이크로스트립 선로는 회로에 나쁜 영향을 미치는 기생 발진(spurious)과 히스테리시스(hysteresis)을 제거하기 위해 특성 임피던스 Z_g 와 같은 값의 칩 저항을 사용하여 마이크로스트립 선로 끝에 종단시킨다.

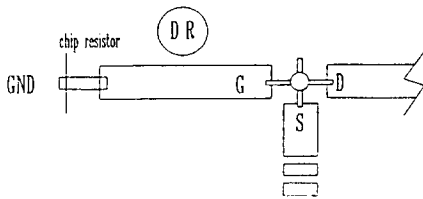


그림 11. FET의 게이트 선로의 종단
Fig. 11. Termination of FET gate microstrip line.

최종적으로 설계된 push-push 유전체 공진 발진기의 회로도도 그림12와 같으며 그림13은 최종적으로 제작된 push-push 유전체 공진 발진기의 사진이다.

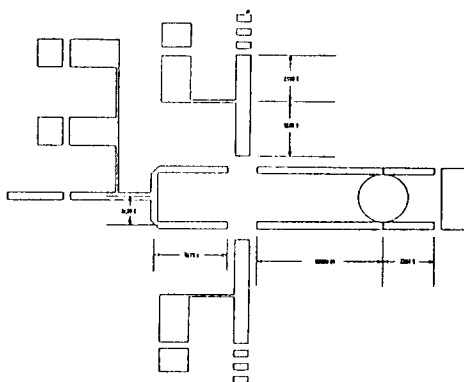


그림 12. Push-push 유전체 공진발진기의 회로도
Fig. 12. Circuit layout of push-push DRO.

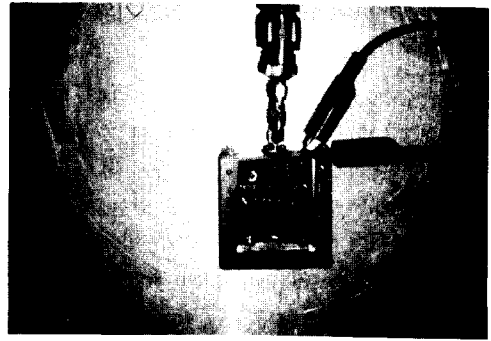


그림 13. Push-push 유전체 공진발진기의 사진
Fig. 13. Photograph of the push-push DRO.

제작방법은 이론적으로 설계한 push-push DRO를 상용 CAD를 사용하여 layout 한다. Plotter로 5배로 확대하여 밸류지에다 hatching시킨 출력 도면을 제작한 다음 사진 필름을 5배 축소시킨 음화 필름을 제작한다. 준비한 기판을 thin film 기법을 통해 회로를 제작한다.

VI. 실험 및 검토

실험에서 push-push 유전체 공진 발진기의 발진주파수를 상온에서 측정하기 위한 장비는 스펙트럼 아날라이저(spectrum analyser) HP 8592B를 사용했고 발진기에 사용된 각 FET의 드레인과 소스 사이에 걸리는 전압과 전류 V_{ds}, I_{ds} 가 2.5V, 20mA가 되게 인가전압을 가변시켜 스펙트럼 아날라이저의 스펙트럼을 측정하였다. 방사손실을 줄이기 위해서 재질을 동(copper)으로 택해 test fixture를 제작하였고 출력과 노이즈에 중대한 영향을 줄 수 있는 접지(grounding)를 고려하여 칩캐시터, 칩저항과 FET가 장착된 기판을 test fixture에 정확히 고정시켰다.

기판의 선로를 접지와 단락시키기 위해서는 via-hole 구조나 wrap-around ground ribbon으로 접지시켜야 하는데 제작하는데 어려움이 있어 기판에 0.15mm의 드릴로 구멍을 내어 0.05mm 이하의 구리선을 사용해 접지시켰다. Push-push 유전체 공진 발진기의 제원을 표3에 나타내었다.

그림14는 제작된 push-push 유전체 공진 발진기의 스펙트럼을 측정하기 위한 측정장비의 사진을 보이고 있다.

그림15는 전대역에서 본 스펙트럼이다. 스펙트럼에서 기본 주파수는 10.605GHz에서 출력이 -32.8dBm이며 2차 고조파는 21.21GHz에서 출력이 -11.

표 3. Push-push 유전체 공진발전기의 제원
Table 3. Specification of push-push DRO.

주파수 대역	K-Band	
유전체공진기	공진주파수 : 10GHz dimension D=5.05mm h=2.44mm	
Port	마이크로스트립 라인	
Substrate	테프론 $\epsilon_r=2.48$ h=0.257mm t=0.0035mm	
Connector	RF	SMA Connector
	DC	Filter-type DC feedthrough
Test fixture	재질 : copper	
	dimension : 64×59×14 (mm ³)	

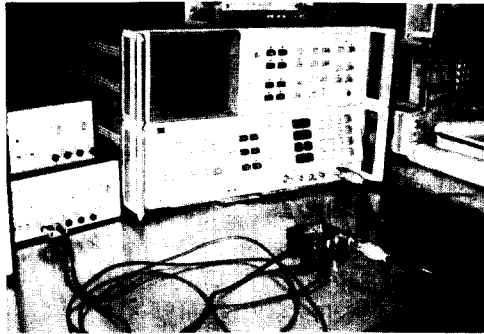


그림 14. 발전기의 측정장치
Fig. 14. Photograph of measurement setup of push-push DRO.

50dBm으로 측정되었다. 발전기를 설계할 때 10GHz의 산란계수로 기본 주파수를 설계하였는데 설계 주파수의 차이가 605MHz의 차이가 있었다. 공진기의 정확한 반사계수 및 공진주파수를 발전기와 같은 조건하에서 네트워크 아날라이저(network analyzer)로 측정하여야 하며 test fixture의 상단에 튜닝 스크류로 조정하여야 한다. 그러나 기본 주파수와 2차 고조파의 출력이 21.3dBm 정도 차이가 있기 때문에 기본 주파수에서 충분히 상쇄되었다. 그림16은 span이 10.0MHz일 때의 스펙트럼이며 그림15에서 본 전대역의 스펙트럼을 2차 고조파의 중심으로 분해능을 높인 스펙트럼이다. 그림17은 분해능을 더 높인 span이 1.0MHz일 때의 스펙트럼이다.

제작된 push-push 유전체 공진 발전기는 상온일때 두가지 span으로 측정하였다. 유전체공진기의 반사계수와 공진주파수 측정, 튜닝 스크류와 정확한 via-hole을 통한 제작이 가능했다면 보다 정확한 측정값을 구할 수 있을 것이다.

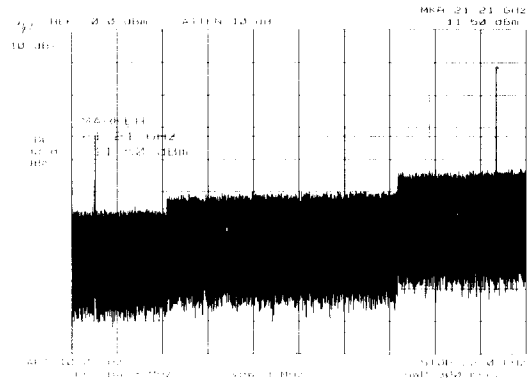


그림 15. Push-push 유전체 공진발전기의 전대역 스펙트럼
Fig. 15. Full spectrum of push-push DRO.

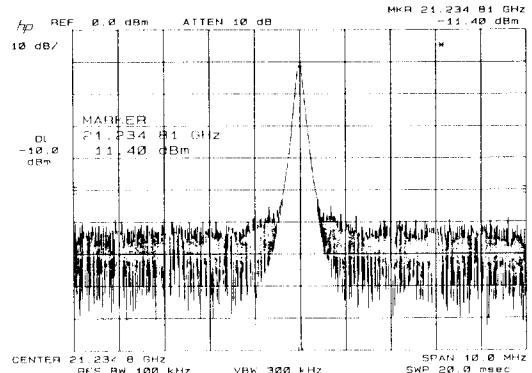


그림 16. Push-push 유전체 공진발전기의 2차 고조파 스펙트럼
Fig. 16. Second harmonics spectrum of push-push DRO.

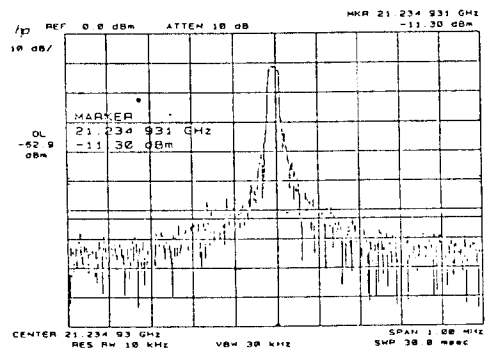


그림 17. Push-push 유전체 공진 발전기의 보다 세밀한 2차 고조파 스펙트럼
Fig. 17. Detailed second harmonics spectrum of push-push.

VII. 결 론

본 논문은 유전체 공진기를 이용한 발진기를 push-push 구조로 결합하여 기본 주파수를 제거시키고 2차 고조파를 출력단에서 결합할 수 있도록 설계 제작하였으며 이에 적합한 test fixture를 제작하여 출력된 발진주파수가 21.23GHz이었으며 출력은 -11dBm이었다. 설계에 사용된 유전체 공진기 DRD055 UE024A의 공진 주파수 9.69~10.54GHz에서 기본 발진기가 동작하는 환경 10GHz에서 반사계수를 정확히 측정하여야 하며 마이크로스트립선로와 유전체 공진기 사이의 간격으로 인한 결합계수와 양호도(Q)도 측정해야 정확한 설계의 기본이 된다. 유전체 공진기와 기판 사이의 높이를 기판에 구멍을 내어 최대 결합이 일어나도록 조절해야 되며 또한 유전체공진기 위에 있는 튜닝 스크류를 조절하여 발진 주파수를 조절해야 한다. 그리고 test fixture에 부착된 SMA 컨넥터 기판 사이에 정확한 RF transition 설계가 요구되고 바이패스시키기 위해 사용되는 via-hole을 정확히 제작하여야 하는 문제점이 제시되었다.

위에 제시한 문제점들을 고려한 설계로 push-push 유전체 공진 발진기를 제작한다면 안정도가 양호한 밀리미터웨이브 대역까지의 신호원으로 사용될 수 있으며 바랙터(varactor) 다이오드를 이용하여 대역폭이 넓은 발진기로 PLL 시스템에 응용할 수 있을 것이다.

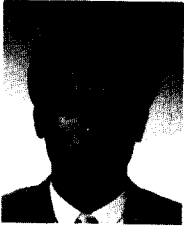
參 考 文 獻

[1] J.S. Joshi and R. Pengelly, "Ultra low chip GaAs dual gate FET microwave oscillator," *MTT-S Symposium digest*, pp. 85-89, 1980.
 [2] K. Abe, et al., "A high stabilized low noise GaAs FET integrated oscillator with a dielectric resonator in the C-band," *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol. MTT-26, pp. 156-162, March 1978.
 [3] Z. Galani, Michael J. Bianchini, Raymond C. Waterman JR., Robert Dibiase, Richard W. Laton Bradford Cole, "Analysis and design of a single resonator GaAs FET

oscillator with noise degeneration," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. pp. 1556-1565, December 1984.

- [4] Raymond S. Pengelly, *Microwave Field-Effect Transistor Theory, Design and Application*, Reserch Studies Press, 1982.
 [5] D. Kajfez and P. Guillon, *Dielectric Resonators*. Artech House, p. 475, 1986.
 [6] P. Guillon, B.Byzery and M. Chaubet, "Coupling parameter between a Dielectric Resonator and microstrip line," *MITT-S Symposium digest*, pp. 222, 1976.
 [7] A. Podcameni and L. Bermudez, "Large signal design of GaAs FET oscillator using input dielectric resonator," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-31, pp. 358-361, April 1983.
 [8] Samuel Y. Liao, *Microwave Circuit Analysis and Amplifier Design*. Prentice-Hall, pp. 321, 1987.
 [9] Amarpal S. Khanna, "Three-port S-parameters ease GaAsFET designing," *Microwaves & RF*, pp. 81-84, November 1985.
 [10] George D. Vendelin, A.M. Pavio and V.L. Rohde, *Microwave Circuit Design*, Wiley New York, pp. 219-228, 1990.
 [11] Cheh-Ming Liu and Chen Y. Ho, "On the design of a voltage-tuned Push -Push Dielectric ResonatorOscillator," *Microwave journal*, pp. 165-174, June 1990.
 [12] Anthony M. Pavio and Mark A. Smith, "A 20-40GHz Push-Push Dielectric Resonator Oscillator," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-33, pp.1346-1349, December 1985.
 [13] 윤찬의, "유전체 공진기를 사용한 X-band Ga-As MESFET 발진기" 석사학위논문, 한국과학기술원, pp. 22-24, 1985.
 [14] Edgar J. Delinger, "Losses of microstrip lines," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.* vol. MTT-28, pp. 513-521, June 1980.

著 者 紹 介



李 柱 悅 (準會員)

1964年 13月 13日生. 1990年 2月
광운대학교 전자통신공학과 졸업
1990年 3月~현재 광운대학교
대학원 전자통신공학과 석사과정
재학중. 주관심분야는 MIC 및
MMIC 설계, 비선형 초고주파회

로의 해석 및 설계, VSAT 설계 등임.

李 燦 柱 (準會員)

1965年 2月 16日生. 1987年 2月 광운대학교 전자
통신공학과 졸업. 1989年 8月 광운대학교 대학원
전자통신공학과 졸업. 1989年 8月~현재 광운대학
교 대학원 전자통신공학과 박사과정 재학중. 주관심
분야는 이동통신, 안테나 해석 및 설계, MIC 및
MMIC 설계 등임.



洪 義 錫 (正會員) 第28卷 A編 第3號 參照

현재 광운대학교 전자공학과
교수